

© Авторы 2024 г. Открытый доступ.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)



© The Authors 2024. Open access.
Content is available under Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)

УДК 551.248.2+550.341

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

<https://doi.org/10.30730/gtrz.2024.8.1.037-046>

<https://www.elibrary.ru/bajsbf>

<http://journal.imgg.ru/web/full/f-e2024-1-3.pdf> (In English)

Кинематика разрывных нарушений Сахалина по геологическим и сейсмологическим данным

П. А. Каменев^{@1}, В. А. Дегтярев¹, О. А. Жердева¹, Ю. В. Костров²

@E-mail: p.kamenev@imgg.ru

¹ Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

² ООО «СахалинНИПИ нефти и газа», Южно-Сахалинск, Россия

Резюме. На тектонической карте о. Сахалин представлены оцифрованные разрывные нарушения, перенесенные с тектонических карт масштаба 1:1 000 000 и установленные по результатам геологических съемок (детализация по картам масштаба 1:200 000 и 1:50 000). Проведено сопоставление структурно-геологических данных о кинематике разрывных нарушений с сейсмологическими данными о механизмах очагов землетрясений. Получено неплохое соответствие этих данных. В южной и северной частях о. Сахалин преобладающим кинематическим типом разломов является взброс/надвиг. В центральной части Сахалина наблюдается смесь кинематических типов разрывных нарушений – преимущественно взброс, реже сброс и сдвиг. Выявлены две зоны, для которых практически отсутствуют данные как структурной геологии, так и сейсмологии. На их границах преобладают механизмы очагов землетрясений со сдвиговой компонентой.

Ключевые слова: разрывное нарушение, взброс, сброс, сдвиг, ГИС, цифровая карта, Сахалин, механизмы очагов землетрясений

Fault kinematics of Sakhalin Island based on geological and seismological data

Pavel A. Kamenev^{@1}, Vladislav A. Degtyarev¹, Olga A. Zherdeva¹, Yury V. Kostrov²

@E-mail: p.kamenev@imgg.ru

¹ Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

² LLC SakhalinNIPIneftigasa, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Abstract. The paper presents a tectonic map of Sakhalin Island showing digitized faults derived from 1:1,000,000 scale tectonic maps and identified by geological surveys (detailed on 1:200,000 and 1:50,000 scale maps). The structural geological data on the kinematics of faults have been compared with seismological data on the earthquake focal mechanisms. A reasonable correspondence of these data has been obtained. The predominant kinematic type of faults is thrust/throw in the southern and northern parts of Sakhalin Island. In the central part of Sakhalin, a mixing of fault kinematic types is observed, mainly thrust faults with rare normal and strike-slip faults. Two uninformative zones have been identified with virtually no data on both structural geology and seismology. The earthquake focal mechanisms with a strike-slip component are dominant at their boundaries.

Keywords: fault, thrust, normal fault, strike-slip fault, GIS, digital map, Sakhalin, earthquake focal mechanisms

The full text of this article in English can be found on the website of the «Geosystems of Transition Zones» journal: <http://journal.imgg.ru/web/full/f-e2024-1-3.pdf>

Для цитирования: Каменев П.А., Дегтярев В.А., Жердева О.А., Костров Ю.В. Кинематика разрывных нарушений Сахалина по геологическим и сейсмологическим данным. *Геосистемы переходных зон*, 2024, т. 8, № 1, с. 37–46. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.8.1.037-046>; <https://www.elibrary.ru/bajbsf>

For citation: Kamenev P.A., Degtyarev V.A., Zherdeva O.A., Kostrov Yu.V. Fault kinematics of Sakhalin Island based on geological and seismological data [Electronic source]. *Geosistemy perhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2024, vol. 8, no. 1. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.8.1.037-046>; <http://journal.imgg.ru/web/full/f-e2024-1-3.pdf>

Благодарности

Авторы благодарны Д.А. Сафонову за помощь с данными о механизмах очагов землетрясений и продуктивные консультации по этому вопросу. Особую благодарность авторы выражают В.М. Яковлеву и В.В. Яковлеву за предоставленный пакет программного обеспечения Isoline GIS.

Acknowledgements

The Authors are grateful to Dmitry A. Safonov for his assistance with data on the earthquake focal mechanisms and productive consultations on this issue. The Authors express special gratitude to Vitaliy M. Yakovlev and Vyacheslav V. Yakovlev for the kindly provided Isoline GIS software package.

Введение

В районах интенсивной тектонической активности разломы являются ключевыми геологическими структурами, определяющими как уровень региональной сейсмичности, так и степень опасности других геологических процессов. Поэтому изучение и картирование разломов является одной из наиболее приоритетных задач целого ряда дисциплин геологии и геофизики.

Интенсивное развитие цифровых технологий в геологии привело к широкому применению в практике исследований геоинформационных систем (ГИС). Главное преимущество применения таких систем заключается в широком наборе инструментов для обработки сведений больших объемов, структурированных в виде баз данных, которые позволяют оперативно пополнять, анализировать и актуализировать итоговую информацию. Еще одним, не менее важным преимуществом является возможность сопоставления и анализа разнородной геолого-геофизической информации, что позволяет получить новые результаты и выводы. В нашем случае это комплексное изучение разломов методами структурной геологии, тектонофизики, сейсмологии, скважинной геофизики (главным образом кавернометрии); измерения деформации земной поверхности на основе методов GPS/ГЛОНАСС, и т.д.

Примерами подобных работ отечественных исследователей могут служить исследования [1–3], выполненные на территории Восточной Сибири с высокой степенью де-

тализации и широким географическим охватом. В этих публикациях авторы использовали цифровые модели рельефа, космоснимки, топографические основы масштаба 1:200 000, региональный и мировые каталоги землетрясений, а также обширный литературный и картографический материал. Разнородная геолого-геофизическая информация была не только закартирована в ГИС, но и дополнена результатами их собственных комплексных исследований. Региональная работа [4] была выполнена на Центральном Тянь-Шане. В отличие от [1–3], в ней не использована ГИС, но применена авторская методика реконструкции тектонических напряжений.

В качестве примера аналогичных зарубежных исследований можно выделить широко известный проект The World Stress Map, интегрирующий различные данные сейсмологии, бурения, структурной геологии с целью реконструкции тектонических напряжений [5]. Для о. Сахалин также предпринимались попытки обобщения и систематизации разнородной геолого-геофизической информации [6–10 и др.]. Работа [10] выполнена без использования ГИС, но с достаточно высоким уровнем детализации. В работу включен минимальный анализ геологической информации, графика представлена в черно-белом виде. Проведенные на о. Сахалин исследования носили скорее локальный характер и в силу ограниченных инструментальных, а главное геоинформационных возможностей не смогли объединить в себе весь комплекс региональных геолого-геофизических исследований.

В настоящей работе предприняты первые шаги в построении системной геодинамической модели о. Сахалин на основе геолого-геофизических данных, прежде всего структурно-геологических и сейсмологических, с использованием ГИС.

Характеристика района исследования

В современной структуре о. Сахалин выделяются две системы поднятий субмеридионального простирания (Восточно-Сахалинская и Западно-Сахалинская), протянувшиеся вдоль западного и восточного побережья и разделенные между собой продольной системой низменностей или депрессий (Северо-Сахалинская низменность, Тымь-Поронайская и Сусунайская депрессии) (рис. 1) [11]. В отличие от Западно-Сахалинской системы поднятий, представленной почти непрерывной цепью горных хребтов, Восточно-Сахалинская представляет собой цепь разобщенных горных сооружений. Южный сегмент включает Тонино-Анивский и Сусунайский хребты, центральный – сложную систему хребтов Восточно-Сахалинских гор, северный сегмент – Западный и Восточный хребты п-ова Шмидта [12].

Западно-Сахалинская складчатая система в структурном отношении представляет собой сложно построенную моноклинали с западным падением слоев, осложненную диагональными и продольными разломами, а также пликативными дислокациями [13]. Моноклинали слагают отложения междугового прогиба активной континентальной окраины [13–15]. В восточной части моноклинали обнажаются наиболее древние, раннемеловые породы. В западном направлении они сменяются, последовательно, позднемеловыми, палеогеновыми и неогеновыми отложениями.

Восточно-Сахалинская складчатая система совмещает в своих чешуйчато-надвиговых и покровно-складчатых структурах разновозрастные и разноформационные структурно-вещественные комплексы (коллаж террейнов), претерпевшие различные структурно-вещественные преобразования [11, 15]. Северо-Сахалинский прогиб в структурном плане являет

собой сдвиго-раздвиговую структуру, он перекрыт мощным чехлом позднекайнозойских терригенных отложений, формировавшихся за счет большого объема твердого стока палео-Амура, дельта которого развивалась в пределах прогиба с раннего миоцена [16, 17]. Структура прогиба осложнена тектоническими нарушениями преимущественно субмеридионального и субширотного простирания и крупными пологими складками северо-северо-западного и субмеридионального простираний [11]. Сусунайская и Тымь-Поронайская депрессии являются наложенными асимметричными впадинами, западные борта которых имеют разломную природу [12]. Сусунайская и Тымь-Поронайская депрессии контактируют на западе с Западно-Сахалинской моноклиной по зоне регионального Центрально-Сахалинского разлома, который представляет собой крупный правосторонний взбросо-сдвиг [18, 19].

Разрывные нарушения сыграли важную роль в формировании современной геологической структуры острова. Главные разломы являются границами тектонических зон или разделяют основные структурные элементы внутри них. Крупнейшие разломные структуры субмеридионального простирания: Западно-Сахалинская, Центрально-Сахалинская (Тымь-Поронайская) и Хоккайдо-Сахалинская (последняя в ряде работ описана как Северо-Сахалинская) – хорошо выражены в рельефе в виде прямолинейных тектонических уступов [18]. Кинематика этих разрывных нарушений имеет явные признаки правосторонних смещений. Помимо субмеридиональных в структуре острова выделяются региональные разломы северо-западного и северо-восточного простирания. Разрывные нарушения разных направлений существенно различны по структурному типу и морфологии и преимущественно представлены крутопадающими сбросами, взбросами, сдвигами, реже надвигами [11, 20, 21].

Материалы исследования

На начальном этапе создания карты сети разломов в качестве исходных данных использовались следующие источники: Государственные геологические карты третьего поколения

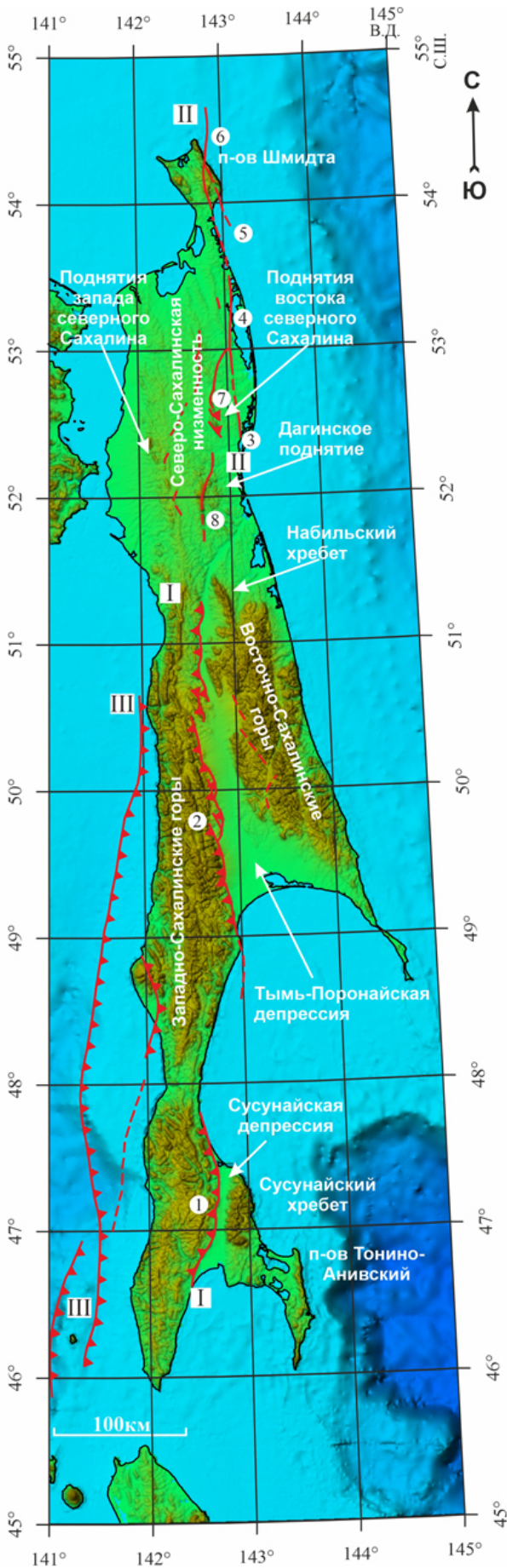


Рис. 1. Основные системы разломов Сахалина согласно [12]. Основа карты – Global Topography V19.1 [30]. Разломные зоны: I – Центрально-Сахалинская (Тымь-Поронайская), II – Северо-Сахалинская, III – Западно-Сахалинская. Разломы: 1 – Апрельский, 2 – Ключевской, 3 – Горомайский, 4 – Пильтунский, 5 – Лонгрийский, 6 – Хейтонский, 7 – Верхне-Пильтунский (Нефтегорский), 8 – Дагинский.

Fig. 1. The main fault systems of Sakhalin Island according to [12]. The map base is Global Topography V19.1 [30]. Fault zones: I – Central Sakhalin (Tym-Poronai), II – North Sakhalin, III – West Sakhalin. Faults: 1 – Aprelovsky, 2 – Klyuchevskoy, 3 – Goromaysky, 4 – Piltunsky, 5 – Longriysky, 6 – Heytonsky, 7 – Verkhne-Piltunsky (Neftegorsky), 8 – Daginsky.

масштаба 1:1 000 000 [11, 20, 21], дополнения из Государственных геологических карт первого поколения масштаба 1:200 000 [22–25], некоторые геологические карты масштаба 1:50 000. Эти исходные данные впоследствии будут верифицироваться и актуализироваться.

Большинство карт существует только на бумажных носителях или в отсканированном виде, что крайне затрудняет их применение. Кроме того, разные листы карт масштабов 1:1 000 000 и 1:200 000 не всегда увязаны между собой, а в некоторых случаях противоречат друг другу. Соседние листы карт масштаба 1:50 000 разных авторов также зачастую плохо коррелируют друг с другом и с картами более мелких масштабов. Применение инструментов ГИС позволяет создать максимально непротиворечивую карту в цифровом виде с возможностью оперативного внесения изменений.

В настоящей работе использована программа *Isoline GIS*, предоставленная разработчиками в образовательных и научно-исследовательских целях. И хотя программа ориентирована по большей части на нефтегазовый и горнодобывающий секторы экономики [26], она вполне может служить удобным интерфейсом при работе с цифровой базой данных.

Построение карты разломов в ГИС позволяет создать максимально достоверную модель при существующей степени изученности. Кроме того, с помощью ГИС возможно наложение друг на друга слоев с разнородной комплексной информацией. В данной работе это реализовано в виде сопоставления данных о кинематике разломов, полученных с помощью структурно-геологических методов [11, 20, 21, 27], с данными по механизмам очагов землетрясений, взятыми из каталога [28].

Это существенно расширяет возможности текущих исследований, при этом создается огромный массив цифровой первичной информации, который может быть использован другими исследователями уже под их конкретные задачи. Нужно отметить, что альтернативный региональный цифровой проект существует как часть Базы данных активных разломов Евразии и прилегающих акваторий [29], но его масштаб и степень детализации не отвечают

нашим задачам по обобщению региональной геодинамической обстановки.

Сопоставление сейсмологических и структурно-геологических данных о кинематике разломов

На основе карт [11, 20, 21] и результатов предыдущих исследователей [18, 19, 27] определены кинематические типы основной системы разломов о. Сахалин, преимущественно для Западно-Сахалинского, Центрально-Сахалинского, Хоккайдо-Сахалинского, Набильского, Тымского и Катанглийского разломов (рис. 2). На карте-схеме представлены результаты по определению кинематики разломов приблизительно для половины уже оцифрованной части разрывных нарушений. Наибольшая плотность определений кинематики приходится на южную часть Сахалина. В северной части таких данных меньше, поэтому для значительной части закартированных разломов кинематика пока не определена. Это является предметом дальнейшей работы по детализации и уточнению геодинамики Сахалина.

Несомненный интерес представляет сопоставление типов кинематики разломов, выявленных разными методами (по геологическим данным, по тектонофизическим измерениям, по изучению механизмов очагов землетрясений). Для такого анализа в ГИС был загружен каталог механизмов очагов землетрясений о. Сахалин 1962–2011 гг., включающий в себя 135 определений механизмов очагов из работы [28], из них 120 определений для сильных землетрясений с $M_{\text{ЛН}} \geq 4.5$. Нами были использованы и более слабые сейсмические события с $M_{\text{ЛН}} \geq 2$ (рис. 2). На рис. 2 представлены механизмы очагов землетрясений для 36 сейсмических событий с $M_{\text{ЛН}} \geq 4$ из каталога [28]. Их кинематические типы на карте показаны упрощенно: взброс/надвиг, сброс и сдвиг. Кроме того, кинематика значительного количества представленных разломов не определена и нуждается в дополнительном уточнении. Такое представление, безусловно, носит весьма упрощенный характер, тем не менее позволяет сделать предварительные выводы.

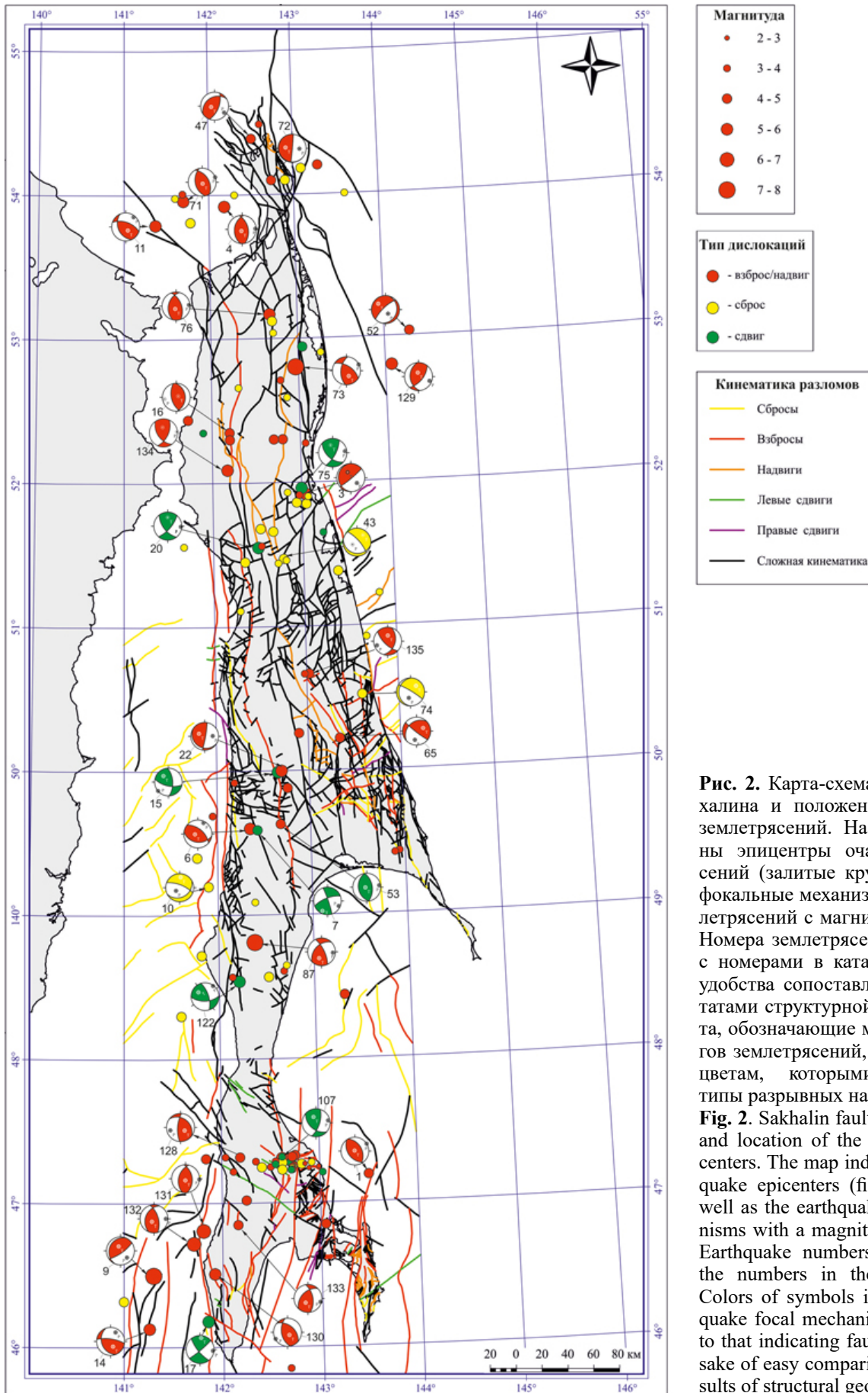


Рис. 2. Карта-схема разломов Сахалина и положение эпицентров землетрясений. На карте показаны эпицентры очагов землетрясений (залитые кружки), а также фокальные механизмы очагов землетрясений с магнитудой $M_{LH} \geq 4$. Номера землетрясений совпадают с номерами в каталоге [28]. Для удобства сопоставления с результатами структурной геологии цвета, обозначающие механизмы очагов землетрясений, соответствуют цветам, которыми обозначены типы разрывных нарушений.

Fig. 2. Sakhalin fault schematic map and location of the earthquake epicenters. The map indicates the earthquake epicenters (filled circles), as well as the earthquake focal mechanisms with a magnitude of $M_{LH} \geq 4$. Earthquake numbers coincide with the numbers in the catalog [28]. Colors of symbols indicating earthquake focal mechanisms correspond to that indicating fault types, for the sake of easy comparison with the results of structural geology.

Анализ полученных результатов указывает на разумную корреляцию данных структурной геологии и сейсмологии. Для южной и северной частей о. Сахалин наиболее характерным кинематическим типом является взброс/надвиг. В центральной части Сахалина наблюдается кинематика со смешиванием разных типов – преимущественно взброс, реже сброс и сдвиг.

На карте разломов Сахалина (рис. 2) четко выделяются два малоинформативных участка: перешеек Поясок (самая узкая часть Сахалина) в районе 48° с.ш. и участок от Александровска-Сахалинского до Лунского прогиба в районе 51° с.ш. На перешейке Поясок, несмотря на маломощный чехол четвертичных отложений, мы видим очень низкую плотность разрывных нарушений. Это связано с тем, что на данном участке не проводились крупномасштабные геологические съемки и поисковые работы. Для него отсутствуют и данные по эпицентрам землетрясений. В районе 51° с.ш. сеть разломов достаточно плотная, но остается невыясненной их кинематика и отсутствуют данные по эпицентрам землетрясений. Другой отличительной чертой данных участков является большое количество механизмов очагов землетрясений со сдвиговой компонентой на границах асейсмичных зон. Данные участки представляют повышенный интерес и являются предметом дальнейшего изучения, с привлечением других методов исследования, в частности тектонофизических, подобных использованным в работе [4].

Заключение

С использованием ГИС закартированы разрывные нарушения о. Сахалин, обозначенные на государственных геологических картах масштаба 1:1 000 000 и масштаба 1:200 000, а также картах масштаба 1:50 000. Дополнительно использованы результаты работ других исследователей, опубликованные как в виде статей, так и в виде цифровой информации с открытым доступом. С помощью собранных воедино структурно-геологических материалов выделены преобладающие кинематические типы основной системы разрывных нарушений о. Сахалин.

Сопоставление кинематических характеристик разломов на основе определений механизмов очагов землетрясений и характеристик, полученных с помощью структурно-геологических методов, показало разумное соответствие этих данных. Для северной и южной части о. Сахалин преобладающим кинематическим типом разрывных нарушений является взброс/надвиг. Для центральной части Сахалина характерно смешивание типов кинематики разломов – преимущественно взбросы, реже сбросы и сдвиги. Отмечены две малоинформативные зоны, по которым практически отсутствуют данные как о механизмах очагов землетрясений, так и структурно-геологические. На их границах больше механизмов очагов землетрясений со сдвиговой компонентой.

Проведенное исследование рассматривается авторами как начальный этап интеграции в ГИС разнородной геолого-геофизической информации. Продолжается развитие новых слоев в формирующейся базе данных, в частности дополнение ее тектонофизическими данными из наших недавно опубликованных работ.

Список литературы

1. Лунина О.В. 2016. Цифровая карта разломов для плиоцен-четвертичного этапа развития земной коры юга Восточной Сибири и сопредельной территории Северной Монголии. *Геодинамика и тектонофизика*, 7(3): 407–434. <https://doi.org/10.5800/GT-2016-7-3-0215>
2. Семинский К.Ж. 2014. Спецкартирование разломных зон земной коры. Ст. 1: Теоретические основы и принципы. *Геодинамика и тектонофизика*, 5(2): 445–467. <http://dx.doi.org/10.5800/GT-2014-5-2-0136>
3. Лунина О.В. 2016. *Разломы и сейсмически индуцированные геологические процессы на юге Восточной Сибири и сопредельных территориях*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 226 с.
4. Ребецкий Ю.Л., Маринин А.В., Кузиков С.И., Сычева Н.А., Сычев В.Н. 2020. Тектонофизические исследования активности разлома Верхового на северном склоне Киргизского хребта. *Геодинамика и тектонофизика*, 11(4): 770–784. <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-4-0506>
5. Heidbach O., Rajabi M., Cui X., Fuchs K., Müller K., Reinecker B., Reiter J., Tingay K., Wenzel F., Xie F., Ziegler M., Zoback M.L., Zoback M.D. 2018. The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales. *Tectonophysics*, 744: 484–498. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.07.007>

6. Мельников О.А., Поплавская Л.Н., Нагорных Т.В. **2001**. Система напряжений в очагах сахалинских землетрясений и ее связь с тектоникой острова. *Тихоокеанская геология*, 20(3): 3–11.
7. Сим Л.А., Богомолов Л.М., Брянцева Г.В., Саввичев П.А. **2017**. Неотектоника и тектонические напряжения острова Сахалин. *Геодинамика и тектонофизика*, 1(8): 181–202. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-1-0237>
8. Bogomolov L.M., Sim L.A., Kamenev P.A. **2020**. Neotectonics and stressed state patterns of the Sakhalin Island. *Intech Open. Engineering Geology*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93522>
9. Прытков А.С., Василенко Н.Ф. **2018**. Деформации земной поверхности острова Сахалин по данным GPS-наблюдений. *Геодинамика и тектонофизика*, 9(2): 503–514. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-2-0358>
10. Сафонов Д.А., Нагорных Т.В., Коновалов А.В., Степнов А.А. **2017**. Тензор момента, механизмы очага землетрясений и напряженное состояние территории о. Сахалин. *Вулканология и сейсмология*, 3: 59–70. <https://doi.org/10.7868/S0203030617030051>
11. Дымович В.А., Евсеев С.В., Евсеев В.Ф. и др. (сост.) **2016**. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Дальневосточная. Лист М-54 (Александровск-Сахалинский): объяснительная записка. СПб.: Картогр. фабрика ВСЕГЕИ, 599 с. URL: https://www.vsegei.ru/ru/info/pub_ggk1000-3/Dalnevostochnaya/m-54.php
12. Кожурин А.И. **2013**. Активная геодинамика северо-западного сектора Тихоокеанского тектонического пояса (по данным изучения активных разломов): Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. М.: ГИН РАН, 46 с.
13. Меланхолина Е.Н. **1988**. Тектоника Северо-Западной Пацифики. Соотношения структур океана и континентальной окраины. М.: Наука, 216 с. (Труды ГИН РАН; вып. 434).
14. Рихтер А.В. **1986**. Структура и тектоническое развитие Сахалина в мезозое. М.: Наука, 93 с. (Труды ГИН РАН; вып. 411).
15. Гранник В.М. **2008**. Геология и геодинамика южной части Охотоморского региона в мезозое и кайнозое. Владивосток: Дальнаука, 297 с.
16. Геология, геодинамика и перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Татарского пролива. Авт.: А.Э. Жаров, Г.Л. Кириллова, Л.С. Маргулис и др.; отв. ред. Г.Л. Кириллова **2004**. Владивосток: ДВО РАН, 220 с. (Серия «Осадочные бассейны Востока России»; т. 2).
17. Костров Ю.В., Хмарин Э.К. **2018**. Обновленная модель развития дельты Палеоамура-Палеоамгуни. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 13(1): 10. https://doi.org/10.17353/2070-5379/7_2018
18. Рождественский В.С. **1982**. Роль сдвигов в формировании структуры о. Сахалин. *Геотектоника*, 4: 99–111.
19. Булгаков Р.Ф., Иващенко А.И., Ким Ч.У., Сергеев К.Ф., Стрельцов М.И., Кожурин А.И., Бесстрашнов В.М., Стром А.Л., Сузуки Я., Цуцуми Х., Ватанабе М., Уеки Т., Шимамото Т., Окумура К., Гото Х., Кария Я. **2002**. Активные разломы северо-восточного Сахалина. *Геотектоника*, 3: 66–86.
20. Шаруева Л.И., Лопатин Б.Г. (сост.) **2016**. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Дальневосточная. Лист N-54 (Николаевск-на-Амуре): объяснительная записка. СПб.: Картогр. фабрика ВСЕГЕИ, 477 с. URL: https://www.vsegei.ru/ru/info/pub_ggk1000-3/Dalnevostochnaya/n-54.php
21. Аленичева А.А., Лызганов А.В., Иванова В.В. и др. (сост.) **2019**. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Дальневосточная. Лист L-(53), 54 (Южно-Сахалинск): объяснительная записка. СПб.: Картогр. фабрика ВСЕГЕИ, 536 с. URL: https://www.vsegei.ru/ru/info/pub_ggk1000-3/Dalnevostochnaya/l-53-54.php
22. Тарасевич Ю.Н., Ковтунович Ю.М. (сост.) **1964**. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Сахалинская. Лист М-55-XIX. URL: https://geolkarta.ru/list_200.php?idlist=M-55-XIX&idlist_d=G&gen=1&g=1
23. Ковтунович Ю.М. (сост.) **1965**. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Сахалинская. Лист М-55-XXV, XXXI. URL: https://geolkarta.ru/list_200.php?idlist=M-55-XXV&idlist_d=G&gen=1&g=1
24. Гальверсен В.Г., Рыбак-Франко Ю.В. и др. (сост.) **2009**. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2. Серия Сахалинская. Лист М-54-XVIII (Пограничное): объяснительная записка. СПб.: Картогр. фабрика ВСЕГЕИ, 187 с. URL: <http://geo.mfvsegei.ru/200k/m-54/m-54-18/1/index.html>
25. Чумаков Л.М., Евсеев С.В., Зуева О.С. и др. (сост.) **2020**. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2. Серия Сахалинская. Лист N-54-XXIX (Нефтегорск): объяснительная записка. СПб.: Картогр. фабрика ВСЕГЕИ, 187 с. URL: <http://geo.mfvsegei.ru/200k/n-54/n-54-29/index.html>
26. Анисимов Г.А., Валеева С.Е., Валеева И.Ф., Анисимова Л.З. **2016**. О современной ситуации по использованию программных комплексов в недропользовании. *Экспозиция Нефть Газ*, 6(52): 13–15.
27. Харахинов В.В., Гальцев-Безюк С.Д., Терещенков А.А. **1984**. Разломы Сахалина. *Тихоокеанская геология*, 2: 77–86.
28. Коновалов А.В., Нагорных Т.В., Сафонов Д.А. **2014**. Современные исследования очагов землетрясений

о. Сахалин и механизмов их возникновения. Владивосток: Дальнаука, 252 с.

29. Zelenin E.A., Bachmanov D.M., Garipova S.T., Trifonov V.G., Kozhurin A.I. **2022**. The Active Faults of Eurasia Database (AFEAD): the ontology and design behind the continental-scale dataset. *Earth System Science Data*, 14(10): 4489–4503. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4489-2022>
30. Smith W.H.F., Sandwell D.T. **1997**. Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, 277(5334): 1956–1962. <https://doi.org/10.1126/science.277.5334.1956>

References

1. Lunina O.V. **2016**. The digital map of the Pliocene-Quaternary crustal faults in the southern East Siberia and the adjacent Northern Mongolia. *Geodynamics & Tectonophysics*, 7(3): 407–434. (In Russ.). <https://doi.org/10.5800/GT-2016-7-3-0215>
2. Seminsky K.Zh. **2014**. Specialized mapping of crustal fault zones. Pt 1: Basic theoretical concepts and principles. *Geodynamics & Tectonophysics*, 5(2): 445–467. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.5800/GT-2014-5-2-0136>
3. Lunina O.V. **2016**. *Faults and seismically induced geological hazards in southern East Siberia and adjacent areas*. Novosibirsk: Publ. House of SB RAS, 226 p. (In Russ.).
4. Rebetsky Yu.L., Marinin A.V., Kuzikov S.I., Sycheva N.A., Sychev V.N. **2020**. Tectonophysical study of the Verkhovoi fault activity on the northern slope of the Kyrgyz ridge. *Geodynamics & Tectonophysics*, 11(4):770–784. (In Russ.). <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-4-0506>
5. Heidbach O., Rajabi M., Cui X., Fuchs K., Müller K., Reinecker B., Reiter J., Tingay K., Wenzel F., Xie F., Ziegler M., Zoback M.L., Zoback M.D. **2018**. The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales. *Tectonophysics*, 744: 484–498. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.07.007>
6. Melnikov O.A., Poplavskaya L.I., Nagornykh T.V. **2001**. A system of stresses in Sakhalin earthquake sources and its relation with tectonics. *Russian Journal of Pacific Geology*, 20(3): 3–11. (In Russ.).
7. Sim L.A., Bogomolov L.M., Bryantseva G.V., Savvichev P.A. **2017**. Neotectonics and tectonic stresses of the Sakhalin Island. *Geodynamics & Tectonophysics*, 8(1): 181–202. (In Russ.). <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-1-0237>
8. Bogomolov L.M., Sim L.A., Kamenev P.A. **2020**. Neotectonics and stressed state patterns of the Sakhalin Island. *Intech Open. Engineering Geology*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93522>
9. Prytkov A.S., Vasilenko N.F. **2018**. Earth surface deformation of the Sakhalin Island from GPS data. *Geodynamics & Tectonophysics*, 9(2): 503–514. (In Russ.). <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-2-0358>
10. Safonov D.A., Nagornykh T.V., Kononov A.V., Stepanov A.A. **2017**. The moment tensors, focal mechanisms, and stresses on Sakhalin Island. *Journal of Volcanology and Seismology*, 3(11): 225–234. <https://doi.org/10.7868/S0203030617030051>
11. Dymovich V.A., Evseev S.V., Evseev V.F. et al. (comp.) **2016**. [State Geological map of Russian Federation on a scale of 1:1 000 000. Third generation. Far East series. Sheet M-54 (Aleksandrovsk-Sakhalinskiy)]: [Explanatory note]. St. Petersburg: Kartograf. fabrika VSEGEI, 599 p. (In Russ.). URL: https://www.vsegei.ru/ru/info/pub_ggk1000-3/Dalnevostochnaya/m-54.php
12. Kozhurin A.I. **2013**. *Active geodynamics of the north-western sector of the Pacific Tectonic Belt (according to the study of active faults): extended abstract of the thesis ... Doctor of Geology and Mineralogy*. Moscow, Geological Institute RAS, 46 p. (In Russ.).
13. Melancholina E.N. **1988**. *Tectonics of the Northwestern Pacific. Correlations of structures of the ocean and the continental margin*. Moscow: Nauka, 216 p. (Proceedings of the GIN RAS; Iss. 434). (In Russ.).
14. Richter A.V. **1986**. *The structure and tectonic development of Sakhalin in the Mesozoic*. Moscow: Nauka, 93 p. (Proceedings of the GIN RAS; Iss. 411). (In Russ.).
15. Grannik V.M. **2008**. *Geology and geodynamics of the southern part of the Okhotsk Sea region in the Mesozoic and Cenozoic*. Vladivostok: Dalnauka, 297 p. (In Russ.).
16. Kirillova G.L. (ed.) **2004**. *Geology, geodynamics and petroliferous potential of the sedimentary basins of the Tatar Strait*. Authors: A.E. Zharov, G.L. Kirillova, L.S. Margulis et al. Vladivostok: FEB RAS, 220 p. (Sedimentary basins of the East of Russia; vol. 2). (In Russ.).
17. Kostrov Yu.V., Khmarin E.K. **2018**. Updated model of the Paleoamur–Paleoamgun delta genesis. *Oil and gas geology. Theory and practice*, 13(1): 10. (In Russ.). https://doi.org/10.17353/2070-5379/7_2018
18. Rozhdestvensky V.S. **1982**. The role of strike-slip in the structure of Sakhalin. *Geotectonics*, 16: 323–332.
19. Bulgakov R.F., Ivashchenko A.I., Kim Ch.U., Sergeev K.F., Strel'cov M.I., Kozhurin A.I., Besstrashnov V.M., Strom A.L., Sudzuki J., Cucumi H., Vatanabe M., Ueki T., Shimimoto T., Okumura K., Goto H., Kariya J. **2002**. Active faults in Northeastern Sakhalin. *Geotektonika*, 36(3): 227–246.
20. Sharueva L.I., Lopatin B.G., Roganov G.V. et al. (comp.) **2016**. [State Geological map of Russian Federation on a scale of 1:1 000 000. Third generation. Far East series. Sheet N-54 (Nikolaevsk-na-Amure)]: Explanatory note. St Petersburg: Kartograf. fabrika VSEGEI, 477 p. (In Russ.). URL: https://www.vsegei.ru/ru/info/pub_ggk1000-3/Dalnevostochnaya/n-54.php
21. Alenicheva A.A., Lizganov A.V., Ivanova V.V. et al. (comp.) **2019**. [State Geological map of Russian Fed-

- eration on a scale of 1:1 000 000. Third generation. Far East series. Sheet L-(53), 54 (Yuzhno-Sakhalinsk): Explanatory note. St. Petersburg: Kartograf. fabrika VSEGEI, 536 p. (In Russ.). URL: https://www.vsegei.ru/info/pub_ggk1000-3/Dalnevostochnaya/l-53-54.php
22. Tarasevich Yu.N., Kovtunovich Yu.M. (comp.) **1964**. [The State Geological map of the USSR on a scale of 1:200000. The Sakhalin series. Sheet M-55-XIX]. (In Russ.). URL: https://geolkarta.ru/list_200.php?idlist=M-55-XIX&idlist_d=G&gen=1&g=1
 23. Kovtunovich Y.M. (comp.) **1965**. [The State Geological map of the USSR on a scale of 1:200000. The Sakhalin series. Sheet M-55- XXV, XXXI]. (In Russ.). URL: https://geolkarta.ru/list_200.php?idlist=M-55-XXV&idlist_d=G&gen=1&g=1
 24. Galversen V.G., Rybak-Franko Y.V. et al. (comp.) **2009**. [State Geological map of the Russian Federation scale 1:200 000. Second ed. The Sakhalin series. Sheet M-54-XVIII (Borderline)]: Explanatory note. St. Petersburg: Kartograf. fabrika VSEGEI, 187 p. (In Russ.). URL: <http://geo.mfvsegei.ru/200k/m-54/m-54-18/1/index.html>
 25. Chumakov L.M., Evseev S.V., Zueva O.S. et al. (comp.) **2020**. [State Geological map of the Russian Federation scale 1:200 000. Second ed. The Sakhalin series. Sheet N-54-XXIX (Neftegorsk)]: Explanatory note. St. Petersburg: Kartograf. fabrika VSEGEI, 187 p. (In Russ.). URL: <http://geo.mfvsegei.ru/200k/n-54/n-54-29/index.html>
 26. Anisimov G.A., Valeeva S.E., Valeeva I.F., Anisimova L.Z. **2016**. About the current situation on the use of software systems in the mineral wealth use. *Exposition Oil & Gas*, 6(52): 13–15. (In Russ.).
 27. Kharakhinov V.V., Galtsev-Bezyk S.D., Tereshenkov A.A. **1984**. Sakhalin faults. *Geology of the Pacific Ocean*, 2: 77–86. (In Russ.).
 28. Konovalov A.V., Nagornyykh T.V., Safonov D.A. **2014**. Recent study of earthquake source mechanisms in Sakhalin. Vladivostok: Dal'nauka, 252 p. (In Russ.).
 29. Zelenin E.A., Bachmanov D.M., Garipova S.T., Trifonov V.G., Kozhurin A.I. **2022**. The Active Faults of Eurasia Database (AFEAD): the ontology and design behind the continental-scale dataset. *Earth System Science Data*, 14(10): 4489–4503. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4489-2022>
 30. Smith W.H.F., Sandwell D.T. **1997**. Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, 277(5334): 1956–1962. <https://doi.org/10.1126/science.277.5334.1956>

Об авторах

Каменев Павел Александрович (<https://orcid.org/0000-0002-9934-5855>), кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии и региональной геологии, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, p.kamenev@imgg.ru

Дегтярев Владислав Анатольевич (<https://orcid.org/0000-0001-8922-3654>), аспирант, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, degtyarevvladislav96@yandex.ru

Жердева Ольга Андреевна (<https://orcid.org/0000-0003-4814-0865>), старший инженер лаборатории сейсмологии, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, o.zherdeva@imgg.ru

Костров Юрий Викторович, главный специалист отдела подготовки объектов геологоразведочных работ, ООО «СахалинНИПИ нефти и газа», Южно-Сахалинск, kos-geo@yandex.ru

About the Authors

Kamenev, Pavel A. (<https://orcid.org/0000-0002-9934-5855>), Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, Laboratory of geochemistry and regional geology, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, p.kamenev@imgg.ru

Degtyarev, Vladislav A. (<https://orcid.org/0000-0001-8922-3654>), Postgraduate Student, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, degtyarevvladislav96@yandex.ru

Zherdeva, Olga A. (<https://orcid.org/0000-0003-4814-0865>), Senior Engineer, Laboratory of seismology, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, o.zherdeva@imgg.ru

Kostrov, Yury V., Head Specialist of the Department for the preparation of the geological prospects, LLC SakhalinNIPIneftigasa, Yuzhno-Sakhalinsk, kos-geo@yandex.ru

Поступила 30.01.2024

Принята к публикации 21.02.2024

Received 30 January 2024

Accepted 21 February 2024